

ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПОЛНОМ ЦИКЛЕ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛИ ВАНАДИЕМ (ЛП–В)

Аннотация

Произведена оценка эмиссии диоксида углерода в полном цикле процесса прямого легирования стали ванадием при условии использования всего экспортного газа шахтной печи для производства электроэнергии, потребляемой в этом же процессе. С целью реализации всех металлизованных окатышей, производимых шахтной печью, в процесс введена вторая электродуговая печь.

Abstract

The estimation of carbon dioxide emissions in the full cycle of the process of vanadium direct alloying of steel provided the use of all export gas of shaft furnace for the electricity production consumed in the same process. With the purpose of realization of all prereduced pellets produced in shaft furnace, in the process is introduced the second electric arc furnace.

Для оценки эмиссии диоксида углерода в процессе прямого легирования стали ванадием (ЛП–В) следует рассматривать совокупную работу всех агрегатов [1; 2]. В этом процессе при использовании ванадийсодержащих титаномagnetитов применяются следующие агрегаты. Агрегат процесса жидкофазного восстановления (ПЖВ), работающий в смешанном режиме с наименьшей степенью дожигания для получения легированного ванадием чугуна и горячего восстановительного газа (ГВГ), шахтной печи (ШП), где происходит процесс металлзации окисленных окатышей, агрегат деванадации чугуна с получением ванадиевого шлака и полупродукта и электродуговая печь (ЭДП1) для получения легированной ванадием стали из шихты 40 % чугуна ПЖВ, 30 % металлизированных окатышей и 30 % лома. Деванадатор добавлен в технологический процесс для улучшения процесса легирования. Этим агрегатом может быть конвертер или ковш. Восстановительные газы из агрегата ПЖВ используются для газотвердофазной металлзации в шахтной печи. В ШП поступают рудное сырье и ГВГ. Из ШП выходят металлизированные окатыши (М.О.) и экспортный газ. В ПЖВ (газификатор) поступают уголь с $C^P = 73,1 \%$, рудное сырье, дутье. На выходе ПЖВ – шлак и полупродукт (чугун). Металлизированное сырье, полупродукт и шлак загружаются в ЭДП1. В ЭДП1 подается электроэнергия, кислород. При оптимизации процесса по шихтовым материалам ЭДП1 в этом процессе в качестве основных вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) выступают ванадиевый шлак и излишние (товарные) металлизированные окатыши [2].

Для полной оценки эмиссии диоксида углерода в процессе ЛП–В надо определиться с тем, где используются экспортный газ и излишние металлизированные окатыши. Для исключения этой проблемы замкнем процесс сам на себя. Для этого добавим еще одну ЭДП2 и

электростанцию, работающую на экспортном газе, что и определит полный цикл процесса ЛП–В (рис. 1). На рис. 1 показаны материалы и их расходы на 1 т электростали ЭДП1 [2].

Из этих данных можно определить, что на одну т чугуна образуется $1942 / 0,431,8 = 4497,5 \text{ м}^3$ ГВГ. ГВГ состоит в % по объему: 52 CO; 18 H₂; 12 N₂; 13 CO₂; 5 H₂O. Его расчетная плотность равна $0,983 \text{ кг / м}^3$. Таким образом, собственная эмиссия CO₂ агрегата ПЖВ по чугуну составляет $1942 \cdot 0,13 \cdot 1,977 = 499 \text{ кг CO}_2$ на 431,8 кг чугуна или приведенная $499/0,4318 = 1155,63 \text{ кг CO}_2$ на т чугуна. Агрегат ПЖВ имеет два выхода: по чугуну и по ГВГ. Собственная приведенная эмиссия CO₂ ПЖВ по ГВГ составит $1155,63 / 4497,5 = 0,257 \text{ кг / м}^3$ ГВГ.

Из ШП выходит экспортный газ, М.О. с содержанием углерода 1,7 %. Экспортный газ в % по объему: 34 CO; 12 H₂; 12 N₂; 31 CO₂; 11 H₂O. Он имеет плотность $1,3067 \text{ кг / м}^3$. Его теплота сгорания составит $Q_H = 0,1079 \cdot 12 + 0,1264 \cdot 34 = 6,3 \text{ МДж/м}^3$ или $1942 \cdot 6,3 = 12234,6 \text{ МДж}$. Если принять, что на один киловатт-ч расходуется 0,388 кг у.т., или $0,388 \cdot 29,3 = 11,37 \text{ МДж}$, то утилизация экспортного газа позволит выработать $12234,6/11,37 = 1076 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии на $726,5 + 411,4 = 1137,9 \text{ кг М.О.}$

Эмиссия диоксида углерода на выходе ШП составит $(31 - 13) \%$ от объема экспортного газа $1942 \cdot (0,31 - 0,13) \cdot 1,977 = 691,9 \text{ кг}$ на $1137,9 \text{ кг М.О.}$ или $691,9/1,1379 = 607,35 \text{ кг}$ на т М.О. [2].

В парогенераторах электростанции сгорает 12 % водорода и 34 % оксида углерода из экспортного газа. При этом образуется $1942 \cdot 0,34 \cdot 1,25 \cdot 1,57 = 1295,8 \text{ кг}$ диоксида углерода или $1295,8/1076 = 1,2 \text{ кг CO}_2/\text{кВт} \cdot \text{ч}$.

Считаем, что при производстве кислорода расходуется только электроэнергия. На 1 м^3 (при н.у.) кислорода расходуется $0,39 - 0,45 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ [3]. Для расчетов выбираем расход $0,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3$ кислорода. Эмиссия диоксида углерода при производстве кислорода составит $0,4 \cdot 1,2 = 0,48 \text{ кг/м}^3$.

В процессе ПЖВ расходуется кислорода $243,3 + 303 = 546,3 \text{ кг}$ или 382 м^3 (в нижние фурмы кроме 30 % кислорода подается воздух), а всего в ПЖВ, ЛП–В девадаторе и ЭДП расходуется $546,3 + (15,44 + 18 + 18) \cdot 1,429 = 619,8 \text{ кг}$ кислорода или $433,7 \text{ м}^3$. Для этого потребуется потратить $173,48 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии. Всего электроэнергии на основные технологические процессы приблизительно потребуется $173 + 270 + 400 = 843 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, что не превышает мощность электростанции. В ЭДП2 доля М.О. в шихте составляют 64,5 %, что считается оптимальной величиной.

На рис. 2 представлен граф эмиссий диоксида углерода полного цикла процесса ЛП–В [4].

В вершинах графа указаны значения сквозных эмиссий диоксида углерода или эмиссий процесса перед косой чертой и сквозных эмиссий после черты. В последнем случае сквозная эмиссия рассчитывается как сумма эмиссии процесса и транзитная эмиссия диоксида углерода. На дугах графа указаны веса дуг – расходы того или иного продукта, названного в вершине, из которой выходит дуга. Транзитная эмиссия определяется суммой произведений значений сквозных эмиссий инцидентных вершин на веса соответствующих дуг.

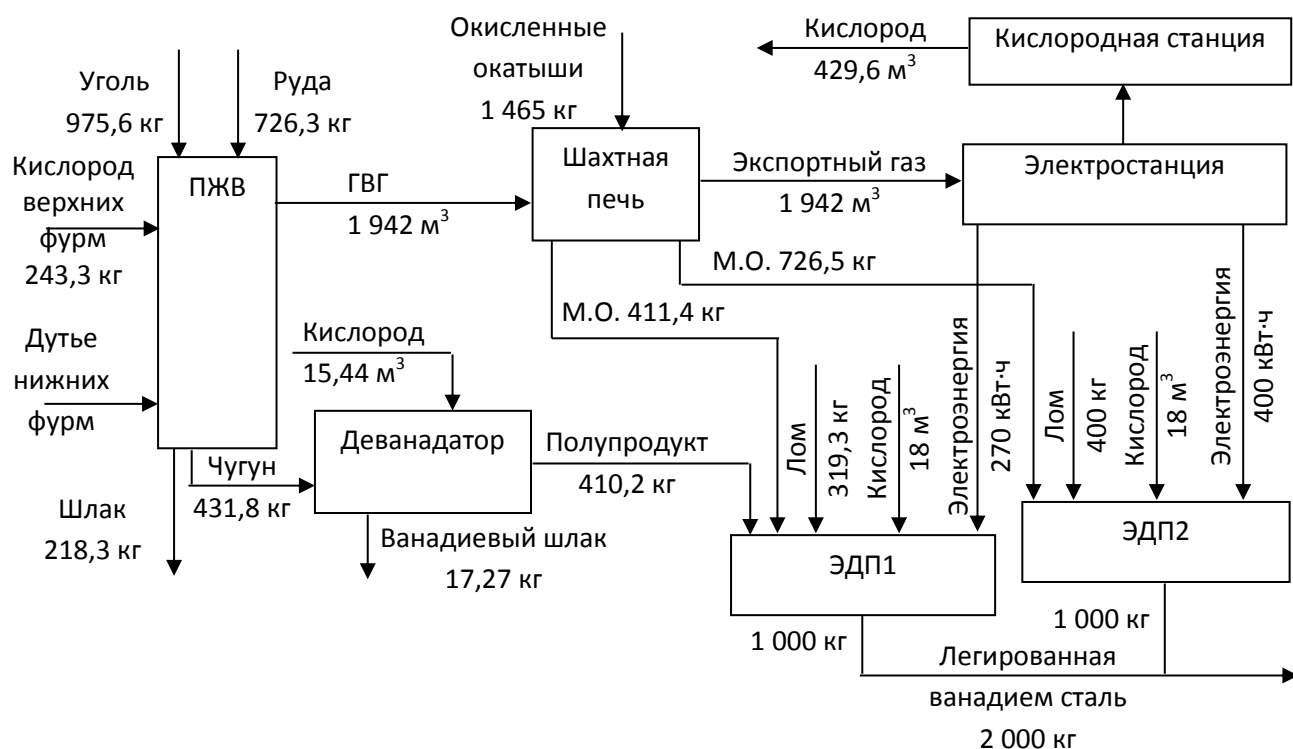


Рис. 1. Структурная схема полного цикла ЛП–В

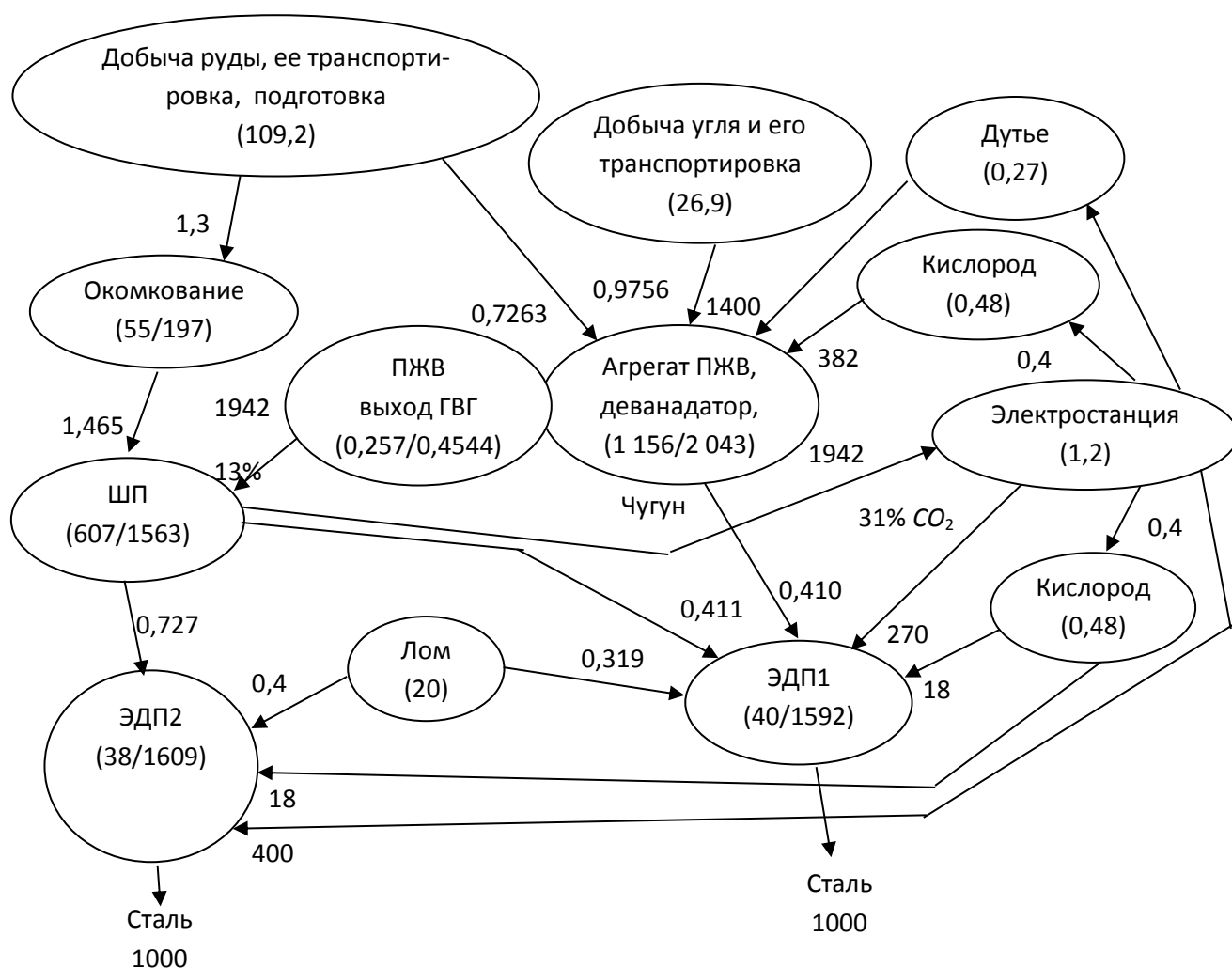


Рис. 2. Граф эмиссий диоксида углерода в процессах ЛП–В

Эмиссии диоксида углерода процессов ЭДП рассчитываются по моделям из [5]. Причем при расчетах учитывалось только выгорание углерода из шихты (М.О. $C = 1,7\%$; лом $C = 0,12\%$; чугун $C = 4\%$; сталь $C = 0,3\%$) и 5 кг электродов с $C = 100\%$. Эмиссии процессов агрегатов ПЖВ, ШП по этим моделям рассчитать не возможно, так как модели построены с учетом полного сгорания топлива. В этой связи эмиссии диоксида углерода таких агрегатов были рассчитаны на основе данных по составу ГВГ и ЭГ из [1]. В табл. 1 приведены для сравнения значения сквозной эмиссии диоксида углерода в иных совокупностях процессов.

Таблица 1

Значения сквозной эмиссии диоксида углерода в различных совокупностях процессов производства стали

Тандем процессов	Сквозная эмиссия CO_2 на т электростали
ЛП-В	1600 (среднее значение)
ХИЛЗ+ЭДП [7]	852
COREX+ЭДП [6]	1805
Доменная печь+ЭДП [6]	1377
Доменная печь+ЭДП [4]	1575

Выводы

1. Сквозная эмиссия диоксида углерода в процессе ЛП-В, рассчитанная по данным работы [2], составила $(1\,592 + 1\,609) / 2 = 1\,600,5$ кг на т стали или $809,5\, м^3$ на т стали.
2. Сквозная эмиссия этого же процесса, рассчитанная по сгоревшему углероду топлива, электродов с учетом транзитных эмиссий руды и окисленных окатышей, составила $(975,6 \cdot 0,731 \cdot 3,667 + 109,2 \cdot 0,7263 + 197 \cdot 1,465 + 10 \cdot 3,667) / 2 = 1\,510$ кг на т стали или $764\, м^3$ на т стали.
3. Разница в этих расчетах $5,6\%$, по всей вероятности, обусловлена сложностью и неоднозначностью цепей транзитных эмиссий, учитываемых в этих методах.

Список использованных источников

1. Пат. на полезную модель №132076. Устройство для производства стали с использованием железорудного сырья и жидкого чугуна (полезная модель) / Ю. Н. Чесноков, В. Г. Лисиенко, А. В. Лаптева. Заявл. № 2012145581 от 25.10.12.
2. Лисиенко В. Г., Соловьева Н. В., Трофимова О. Г. Альтернативная металлургия: проблема легирования, модельные оценки эффективности / под ред. В. Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2007. – 440 с.
3. Ю. И. Розенгарт, З. А. Мурадова, Б. З. Теворовский и др. Теплоэнергетика металлургических заводов: учебник для вузов. М.: Металлургия, 1985. 303 с.
4. Чесноков Ю. Н., Лисиенко В. Г., Лаптева А. В. Граф эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Инженерная экология. Выпуск: VI. М.; 2011. С. 40–44.
5. Чесноков Ю. Н., Лисиенко В. Г., Лаптева А. В. Математические модели косвенных

оценок эмиссии CO₂ в некоторых металлургических процессах // Сталь. 2011. С. 74–77.

6. Чесноков Ю. Н., Лисиенко В. Г., Лаптева А.В. Сквозная эмиссия диоксида углерода в тандеме процессов COREX и ЭДП // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Инженерная экология. Выпуск: VI. М.; 2011. С. 50–53.

7. Чесноков Ю. Н., Лисиенко В. Г., Лаптева А. В. Сквозная эмиссия диоксида углерода в процессе ХИЛ–3 (HYL–3). Сборник ТИМ2012.

УДК 669.042

К. А. Щипанов, Н. А. Спирин

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

Институт материаловедения и металлургии,

кафедра «Теплофизика и информатика в металлургии», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

*Работа выполнена при финансовой поддержке УрФУ
в рамках реализации Программы развития УрФУ
для победителей конкурса «Молодые ученые УрФУ»*

Аннотация

В докладе отражены результаты разработки комплекса математических моделей, алгоритмов и программного обеспечения для расчета шихты заполнения доменной печи, ее расположения по высоте печи, выбора оптимальных дутьевых и газодинамических параметров при задувке с регулируемым процессом шлакообразования и восстановления, а также при традиционной задувке доменной печи. Разработанное программное обеспечение расчета состава шихты может быть использовано для расчета параметров шихты заполнения применительно к условиям работы различных металлургических предприятий.

Ключевые слова: задувка доменной печи, дутьевой режим, газодинамика, шлакообразование, математическая модель, программное обеспечение

Abstract

The results of working out of mathematical models, algorithms and software for calculation of blast furnace filling-up with charge, its arrangement on the furnace height, selection of optimum blowing and gas-dynamic parameters at blowing-in with controlled process of slag formation, and also at traditional blowing-in of blast furnace. The developed software for calculation of charge parameters as applied to working conditions of various metallurgical plants.

Keywords: blowing-in of blast furnace, blasting mode, gas kinetics, slag formation, mathematical model, software